

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	<b>Identification of c-jets in p+p and A+A collisions with Machine Learning</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Bc. Jitka Mrázková</b>
<b>Typ práce:</b>	diplomová práce
<b>Fakulta:</b>	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
<b>Katedra:</b>	Katedra fyziky
<b>Vedoucí práce:</b>	doc. RNDr. Jana Bielčíková, Ph.D.
<b>Pracoviště vedoucího práce:</b>	FJFI ČVUT v Praze a ÚJF AV ČR, v.v.i.

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání a motivace k jeho vypsání</b>	<b>náročnější</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce a krátké průvodní slovo k motivaci pro zadání práce.</i>	
<p>Produkce jetů obsahujících těžké (c a b) kvarky patří v současné době k velmi aktivně studovaným tématům ve fyzice těžkých iontů. Těžké kvarky díky své hmotnosti vznikají již na samotném počátku srážky a lze je proto vhodně využít jako sondy horké a husté jaderné hmoty (kvarkového-gluonového plazmatu, QGP). Jejich experimentální detekce je však velmi složitá, protože vyžaduje velmi přesné vrcholové detektory, které jsou schopné odlišit sekundární vrcholy, ve kterých se rozpadají hadrony obsahující těžký kvark, a to jen pár desítek až stovek mikrometrů od prvotního vrcholu srážky, na velkém pozadí dalších částic, které ve srážce těžkých iontů vznikají. Očekává se, že právě zde by mohly najít vhodné uplatnění metody strojového učení a vylepšit signifikanci rekonstruovaného signálu. Zadané téma diplomové práce je proto inovativní a náročné.</p>	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Práce je logicky velmi dobře členěna a odráží jednotlivé body zadání. V prvních třech kapitolách se Jitka postupně věnuje rešerši nejnovějších měření na urychlovači RHIC a LHC v oblasti studia produkce jetů včetně jetů obsahujících těžké kvarky (Kapitola 1), přehledně diskutuje algoritmy pro rekonstrukci jetů (Kapitola 2) a čtenáře stručně seznamuje s metodami strojového učení, které následně sama v diplomové práci využívá se zaměřením na model JetVLAD vyvinutý v naší skupině (Kapitola 3). Jádro samostatné vědecké práce Jitky pak tvoří následující dvě kapitoly. Ve čtvrté kapitole se Jitka věnuje aplikaci JetVLAD modelu na data z proton-protonových srážek a po zavedení klasifikačních metrik vyhodnocuje performanci modelu pro tagování jetů obsahujících c kvark. Tato studie je provedena jak pro energie p+p srážek na urychlovači RHIC (200 GeV a 510 GeV), tak pro jednu z energií na urychlovači LHC (7 TeV). V rámci širokého intervalu energií srážky model vykazuje vynikající chování. Kapitola 5 je následně věnována aplikaci JetVLAD modelu na simulované srážky těžkých iontů při energii urychlovače RHIC a akceptanci experimentu STAR. Tyto simulace byly provedeny pomocí modulárního integrovaného softwarového balíku JETSCAPE, který se v současné době stále zdokonaluje a obsahuje mj. generátory pro simulaci dynamického vývoje viskózní tekutiny v QGP a transport a modifikaci jetů v QGP. Až při řešení diplomové práce jsme bohužel zjistili, že JETSCAPE s hadrony obsahujícími těžké kvarky pracuje jako se stabilními částicemi a Jitka proto musela operativně vytvořit ve své studii mezikrok, ve kterém modifikovala výstupní soubory s generovanými částicemi z JETSCAPE, aby se hadrony (D mezony, obsahující c kvark) rozpadly tak, jak je tomu i v reálném experimentu. Dceřiné produkty z takto rozpadlých D mezonů Jitka následně doplnila zpět do souboru částic generovaných v JETSCAPE a dále tyto soubory analyzovala pomocí JetVLAD modelu. Tato skutečnost o něco zdržela průběh diplomové práce, protože autoři JETSCAPE, přestože slíbili, že tam chybějící funkcionalitu rozpadu těžkých hadronů doplní, bohužel doposud tak neučinili.</p>	

Vícestuňový proces generace dat Jitce proto znemožnil vygenerovat dostatečně velké soubory dat a studie performance modelu JetVLAD a jeho optimalizace pro srážky těžkých iontů nemohla být provedena do všech detailů. Nicméně, i přes tyto technické potíže, se kterými si Jitka velmi dobře poradila, se podařilo vyhodnotit performanci JetVLAD modelu v prostředí QGP a tato studie umožní do budoucna další rozvoj v této oblasti. Na základě výše uvedeného se domnívám, že diplomová práce splňuje zadání a Jitce se podařilo dosáhnout velmi hodnotných výsledků.

**Aktivita a samostatnost při zpracování práce**

**výborná**

*Posuďte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posuďte schopnost studenta samostatně tvůrčí práce.*

Jitka byla během řešení diplomové práce vždy aktivní a k zadání přistupovala velmi zodpovědně a pečlivě. Řešení diplomové práce vyžadovalo seznámení se s několika poměrně složitými metodami: rekonstrukcí jetů, modelem JetVLAD, generátorem PYTHIA pro simulace proton-protonových srážek a v neposlední řadě s prostředím JETSCAPE, který nakonec vyžadoval samostatnou implementaci rozpadů hadronů obsahujících c kvark vně tohoto modelu. Toto byl opravdu velmi náročný a komplexní úkol pro studentku magisterského studia a domnívám se, že Jitka si s ním poradila výborně a prokázala tak schopnost samostatné tvůrčí práce již v takto rané fázi vědecké kariéry.

**Odborná úroveň**

**výborná**

*Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.*

Odborná úroveň diplomové práce je výborná. Jitka se v relativně krátkém čase výborně zorientovala nejenom v odborné literatuře týkající se studia jetů a výběru jetů obsahujících těžké kvarky, ale také, jak již bylo uvedeno výše, paralelně s modelem strojového učení JetVLAD a generátory srážek PYTHIA a JETSCAPE, které ve své práci prakticky využila.

**Formální a jazyková úroveň**

**výborná**

*Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.*

Diplomová práce je po formální stránce vypracována velmi kvalitně. Typografická a jazyková stránka (práce je vypracována v anglickém jazyce) jsou na vysoké úrovni.

**Výběr zdrojů, korektnost citací**

**výborné**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.*

Jitka využila ve své práci dostupné relevantní zdroje a tyto ve své práci také řádně cituje. Bibliografické citace jsou úplné a v souladu se zvyklostmi v oboru a normami.

**Další komentáře a hodnocení**

*Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Získané výsledky jsou originální a k jejich dosažení bylo využito nejnovějších a inovativních metod, které naleznou uplatnění i v dalších podobných studiích v budoucnosti, jak na urychlovači RHIC, tak na LHC: V následujících měsících plánujeme na větší statistice simulovaných dat z jádro-jaderných srážek dokončit studii performance JetVLAD modelu a získané výsledky publikovat.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE**

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Případně uveďte otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Závěrem bych chtěla konstatovat, že Jitka se velmi nelehkého úkolu, které zadání diplomové práce obsahovalo, zhostila profesionálně. Podařilo se jí velmi rychle osvojit si řadu velmi rozdílného programového vybavení a přispět také k jeho zdokonalení vlastní aktivitou (zavedením rozpadů těžkých hadronů). Následné trénování a vyhodnocení výstupu modelu JetVLAD vyžadovalo systematický a pečlivý přístup a časově náročnou práci s velkými soubory dat. Dosažené výsledky zaměřené na možnost výběru jetů pomocí hadronů obsahujících c kvark, jak v proton-protonových, tak v jádro-jaderných srážkách za využití inovativní metody založené na strojovém učení jsou velmi cenné a dávají velmi dobrý základ pro další rozvoj modelu JetVLAD a jeho optimalizaci v prostředí srážek těžkých iontů na urychlovačích RHIC a LHC.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 18.5.2023

Podpis:

